

INTERPRETACION GEODINAMICA DEL VOLCANISMO DEL EJE NEOVOLCANICO TRANSMEXICANO

Alain Demant*

RESUMEN

El Eje Neovolcánico Transmexicano constituye el elemento más característico de la tectónica de México. Esta cadena volcánica de edad plio-cuaternaria, se extiende sobre más de 1,000 km del Océano Pacífico al Atlántico, con una orientación totalmente distinta a la de las demás unidades estructurales del país. Tal disposición es resultado de la historia reciente de esta parte meridional de la Placa Norteamericana, causada por la abertura progresiva de la fosa de Acapulco durante el Oligo-Mioceno como consecuencia del movimiento diferencial entre Norteamérica y la placa caribeña y por el cambio del ángulo de rotación de la Placa de Cocos, el cual ocurrió en el Mioceno tardío.

La localización y características del volcanismo del Eje Transmexicano resaltan esta evolución tectónica, pudiéndose diferenciar tres sectores.

En la parte occidental del Eje (fosa tectónica de Tepic-Chapala) se encuentra una asociación volcánica calci-alcalina con basaltos y andesitas dacíticas de dos piroxenas, semejantes a otras series circumpacíficas. Este volcanismo se relaciona con la subducción de la Placa de Rivera.

La fosa tectónica de Colima se caracteriza por su peculiar orientación N-S, y por la coexistencia de un volcanismo calci-alcalino con un volcanismo alcalino. Las riolitas peralcalinas de La Primavera, cerca de Guadalajara, deben relacionarse con ese último magmatismo, el cual denota la existencia de movimientos de tensión recientes, producidos a consecuencia de un ángulo y velocidad de hundimiento diferentes entre las placas de Rivera y Cocos.

El volcanismo de la parte central y oriental del Eje Transmexicano está en relación con la subducción de la Placa de Cocos. Sin embargo, se observan algunas variaciones en la química y geoquímica desde el oeste hasta el este, que parecen relacionarse con los cambios en la edad y espesor de la Placa de Cocos, muy reciente al oeste (<4 m.a.), y por lo tanto muy caliente, razón por la que podría explicarse la gran abundancia de actividad volcánica en Michoacán, y también el aumento del espesor de la placa continental hacia el poniente.

ABSTRACT

The Transmexican Volcanic Belt is one of the most prominent tectonic features in Mexico. This quaternary volcanic chain extends for more than 1,000 km from the Pacific to the Atlantic oceans. Its E-W trend varies completely from other tectonic directions. This arrangement is the result of the recent tectonic evolution of the southern part of the North-American plate; and it includes the progressive opening of the Acapulco trench during Oligo-Miocene times due to the relative motions of the North-American and Caribbean plates, and the change in the rotation angle of the Cocos plate which occurred in late Miocene times.

The location and specific characters of the Transmexican volcanic province reflect this tectonic evolution. Three geographic provinces can be defined in the belt:

The western section (Tepic-Chapala graben) is comprised of calc-alkaline rocks: olivine basalts emitted through small cones, strato-volcanoes of two-pyroxene-andesites and dacites. Rhyolites are uncommon except in the Tequila region. The production of these lavas can be related to the subduction of the Rivera plate.

The Colima graben shows peculiar N-S direction. It is characterized by the spacial coexistence of a calc-alkaline sequence (Nevado and Volcán de Colima strato-volcanoes) with alkaline rocks (found as small cones in the graben). The comenditic rhyolites found in La Primavera caldera, near Guadalajara, are probably related to the alkali volcanic episode generated by recent distensional movements. These movements can be explained by the differences in the subduction patterns of two plates, the Rivera and the Cocos plates.

The volcanics forming the central and oriental parts of the Transmexican belt are related to the subduction of the Cocos plate. Chemical changes found from W to E in major and trace-elements geochemistry can be explained: (1) by the structure of the Cocos plate, very recent (less than 4 m.y.) and thick in its western section. The most productive volcanic activity is located in the Michoacán province, where 3,000 cones were counted and (2) by an increase in the thickness of the continental lithosphere from west to east; being the eastern part of the belt where the four largest strato-volcanoes are located.

INTRODUCCION

Existen numerosos trabajos relativos al volcanismo del Eje Neovolcánico Transmexicano (Demant, 1978), pero todavía no se cuenta con un esquema global satisfactorio que permita explicar todos los caracteres petrográficos y geoquímicos de esta cadena transcontinental. Esto parece ser resultado de dos errores fundamentales: a) Haber empezado el estudio con

trabajos de campo muy detallados, antes de tener una visión general de la estructura y b) no haber, por lo tanto, reconocido la característica esencial del volcanismo del Eje Transmexicano; es decir, su edad únicamente plio-cuaternaria, por lo que se mezclaron en las interpretaciones dos ciclos volcánicos totalmente distintos, tanto por su significado geodinámico, como por su petrografía y geoquímica.

Debe recordarse que la actividad volcánica en México se desarrolló durante tres períodos principales que coinciden con diferentes ambientes tectónicos, relacionados con las etapas de la deriva de la Placa Norteamericana:

* Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, 04510 México, D.F. Actualmente en: Laboratoire de Pétrologie, Université Aix-Marseille III, France.

(1) Un período jurásico-cretácico con un volcanismo de tipo arco volcánico-mar marginal conocido como arco Alisitos-Teloloapan (Campa *et al.*, 1976), resultado de la subducción del paleo-Pacífico.

(2) Un volcanismo oligo-miocénico de tipo margen continental activo, relacionado con la subducción de la Placa de Farallón, el cual constituye la Sierra Madre Occidental y gran parte del altiplano central (Demant, 1978; McDowell y Clabough, 1979).

(3) Un período plio-cuaternario más complejo con una asociación de basaltos toleíticos-magmatismo alcalino (Gutmann, 1977; Johnpeer, 1977; Batiza, 1978; Gastil *et al.*, 1979) en la zona en expansión del Golfo de California; un volcanismo parecido alcalino-toleítico a lo largo del Golfo de México (Robin y Demant, 1974) y la cadena andesítica del Eje Neovolcánico que sigue del Pacífico hasta el Atlántico sobre más de 1,000 km (Demant, 1978).

En el marco del estudio sistemático del Eje Transmexicano, que se llevó a cabo durante cuatro años en el Instituto de Geología de la UNAM, se pudo resaltar su característica esencial; es decir, su edad únicamente reciente, y por lo tanto su orientación particular y totalmente diferente con respecto a los demás lineamientos tectónicos que prevalecen en México.

INTERPRETACION GEODINAMICA DEL EJE TRANSMEXICANO

A partir de esta observación que sobresale de los estudios de campo, se tuvo que buscar una explicación geodinámica. Se habla de la subducción de la Placa de Cocos como del origen del volcanismo del Eje Transmexicano, pero este mecanismo no explica por sí solo la ausencia de paralelismo entre la fosa oceánica (Fosa de Acapulco) y la cadena volcánica. Para interpretar tal disposición, se imaginó una geometría particular de la placa que se hunde, con una disminución del ángulo de subducción del oeste hacia el este (Urrutia y del Castillo, 1977). Este modelo, criticado por Demant (1978), no concuerda con las conclusiones sísmicas recientes de Vanek y Hanús (1979, inédito), que muestran un aumento progresivo de la profundidad de los focos sísmicos paralelamente a la Fosa de Acapulco.

La ausencia de relación geométrica estrecha entre la fosa oceánica y el Eje Neovolcánico puede interpretarse como el resultado de dos fenómenos dinámicos (Demant, 1978):

1 - La abertura progresiva de la Fosa de Acapulco es consecuencia del desplazamiento entre América del Norte y la Placa Caribeña a lo largo de las fracturas Polochic-Motagua-Bartlett; movimiento comprobado por la edad reciente, Mioceno medio a tardío, de los sedimentos encontrados en el fondo de la fosa (Karig *et al.*, 1978). Sin embargo, la edad idéntica del volcanismo a lo largo de toda la cadena volcánica demuestra que este mecanismo no explica por sí solo el magmatismo del Eje Transmexicano, sino solamente la fracturación y el plegamiento de esta parte meridional de la Placa Norteamericana (Demant, 1978). Los esfuerzos tectónicos sufridos por la placa continental tienen una influencia secundaria para el volcanismo: no intervienen en la génesis de los magmas, sino en la ubicación de los volcanes. Así, a lo largo de las fracturas de tensión por donde suben fácilmente los magmas, se desarrolló un gran número de pequeños volcanes (Michoacán, Sierra Chichinautzin), mientras que en las zonas en

compresión la ascensión más lenta facilitó el establecimiento de cámaras magmáticas y fenómenos de diferenciación magmática. Estas lavas edificaron los grandes estrato-volcanes (Iztacihuatl, Popocatepetl, Pico de Orizaba).

2 - El principal responsable del volcanismo del Eje Transmexicano es entonces el cambio drástico ocurrido en el Pacífico centro-oriental a fines del Cenozoico. En efecto, hace 10 m. a. se produjo el salto hacia el este (*jump*) de las crestas de Mathematician y Clipperton hasta la Cordillera Pacífica oriental (*East Pacific Rise*), localizándose ésta en la entrada del Golfo de California y provocando su abertura progresiva. Las consecuencias de este salto fueron la desaparición de la Placa de Farallón, responsable del volcanismo de la Sierra Madre Occidental, y el desarrollo de otro sistema de placas, en el sur de México, el de Rivera y Cocos, cuyas direcciones de rotación diferentes a la que prevalecía anteriormente para la Placa de Farallón explican la disposición fundamentalmente distinta del Eje Neovolcánico con respecto al sistema de la Sierra Madre Occidental.

Es de observarse que más al sur el abandono de la cordillera de los Galápagos y el salto hacia el este de la zona en expansión (*East Pacific Rise*) también provocaron un cambio en el volcanismo andino de Perú, donde se diferencian un ciclo miocénico y un volcanismo plio-cuaternario (Lefevre, 1979).

Así, en el cuadro de la tectónica global se puede explicar el volcanismo del Eje como resultado de la subducción, desde el Mioceno tardío, del nuevo sistema de placas Rivera-Cocos debajo de una placa continental deformada y fracturada durante el desplazamiento diferencial entre América del Norte y la Placa Caribeña.

RELACIONES ENTRE LA TECTONICA Y LOS CARACTERES GEOQUIMICOS

Cambiando de escala en el estudio y utilizando los métodos petrográficos y geoquímicos, se pudo afinar este modelo y dividir al Eje Neovolcánico en tres partes principales, en relación a condiciones dinámicas diferentes: 1) la parte occidental, 2) la fosa tectónica de Colima, y 3) el sector central y oriental (Figura 1) (Demant y Nixon, 1980).

1 - La parte occidental del Eje Neovolcánico corresponde a lo que fue definido como fosa tectónica Tepic-Chapala (Demant, 1978). Los volcanes se localizan en una zona bastante estrecha, de una veintena de kilómetros, con orientación NW-SE. El volcanismo de este sector no está tan desarrollado como en otras partes del Eje Neovolcánico; sin embargo, cuatro volcanes principales sobresalen por su importancia: San Juan, Sangangüey, Ceboruco y Tequila, cuyas características volcanológicas y petrográficas se describen en el artículo de Demant (1979). Estos volcanes están constituidos por andesitas y dacitas de plagioclasas, clinopiroxenas y ortopiroxenas \pm anfíbolos. Las riolitas son escasas y aparecen principalmente al pie del volcán de Tequila. Los basaltos están presentes a lo largo de toda la fosa tectónica, en forma de derrames provenientes de pequeños conos escoriaáceos alineados según las fracturas regionales; se observa una cierta evolución química hasta andesitas y dacitas (Demant, 1979). Los basaltos tienen 16-17% de Al_2O_3 y valores bajos en Ni y Cr (Demant y Nixon, 1980). El volcanismo de la parte occidental del Eje, de tipo calci-alcalino, es resultado de la subducción de la Placa de Rivera.

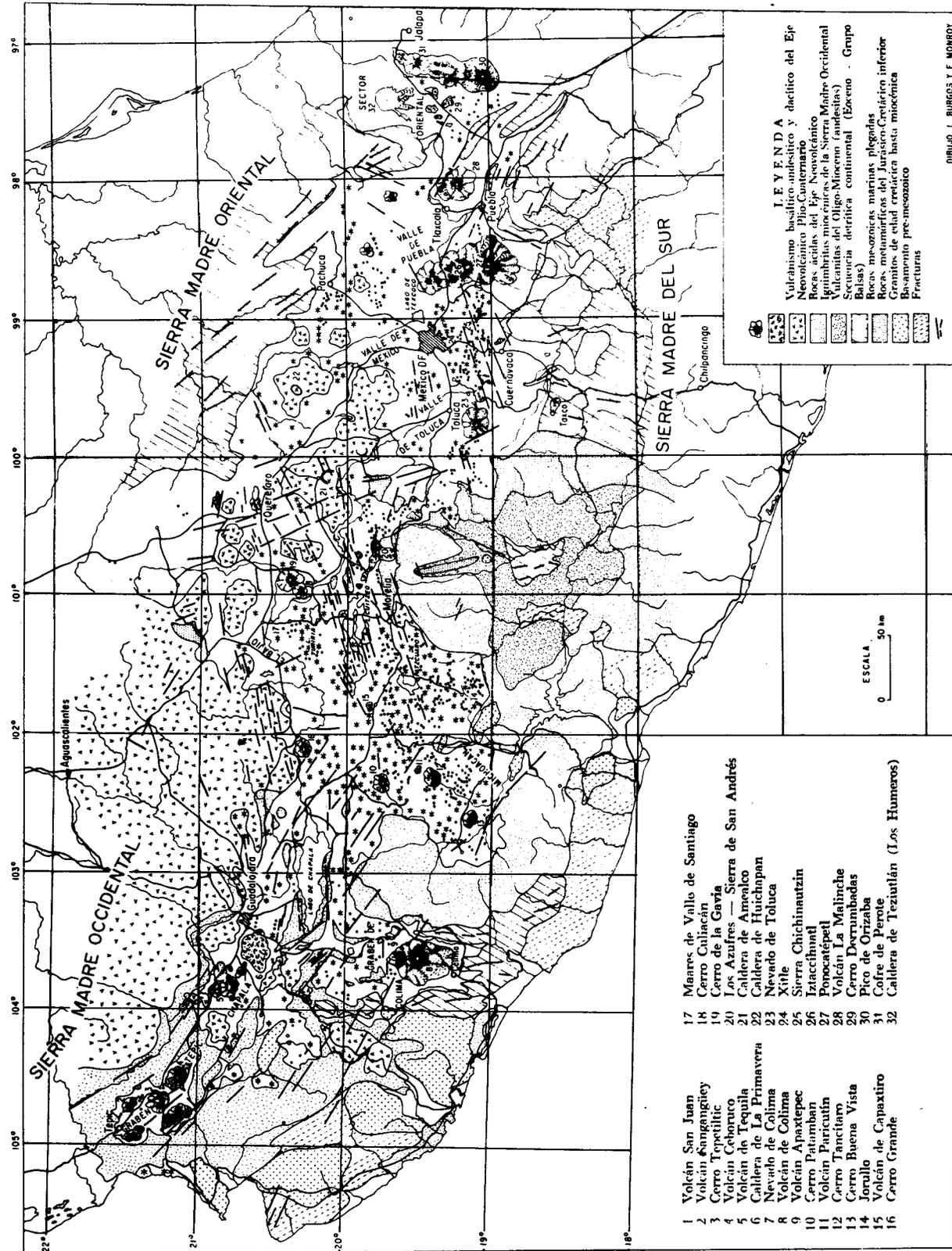


Figura 1.- Mapa geológico simplificado del Eje Neovolcánico Transmexicano.

2 - La fosa tectónica de Colima tiene una orientación particular N-S, y en este sector el volcanismo más importante corresponde a la estructura Nevado de Colima-Volcán de Colima (Figura 1), cuyas lavas son andesitas ricas en SiO_2 (59-60%), caracterizadas por una asociación de dos piroxenas más anfífolas; este último mineral destaca la riqueza en agua del magma, comprobada también por los valores de la fugacidad de oxígeno calculados por Luhr y Nelson (1979). Existen al norte, en ambos lados de esta cadena andesítica, lavas basálticas que provienen de pequeños conos (Volcán Apaxtepec, región de Venustiano Carranza) cuyas características químicas son totalmente distintas, tratándose de basaltos potásicos con olivino normativo y biotita en la matriz (Demant *et al.*, 1976; Demant, 1978, 1979). La geoquímica muestra también lo peculiar de estas lavas, que tienen valores elevados en Ni y muy elevados en Sr y Zr (Demant y Nixon, 1980). Tales observaciones permiten definir en la fosa tectónica de Colima dos asociaciones magmáticas, un volcanismo calcialcalino y un magmatismo alcalino. Se observan, además, lavas peralcalinas (comenditas) en la región de Guadalajara, en la caldera de La Primavera (Mahood, 1977), que corresponde al límite septentrional de la fosa tectónica de Colima. Este último representa una estructura de tensión en una placa continental (Demant, 1978), que puede interpretarse como resultado del hundimiento diferente (dirección del movimiento y ángulo de rotación) de las placas de Rivera y Cocos (Demant y Nixon, 1980).

3 - En los sectores central y oriental del Eje se puede agrupar el volcanismo de Michoacán, de los valles de Toluca, México y Puebla y del sector oriental (Figura 1), como relacionado con el hundimiento de la Placa de Cocos. Sin embargo, aparecen cambios en los caracteres volcanológicos y geoquímicos, de W hacia el E, que pueden explicarse por las variaciones de las propiedades del piso oceánico que se hunde y por el cambio de espesor de la placa continental (Nixon, 1979a; Demant y Nixon, 1980). En efecto, se sabe (Sclater *et al.*, 1971) que en su parte occidental la Placa de Cocos es muy joven (< 4 m.a.) y por lo tanto muy caliente, en tanto que es posible encontrar en este hecho una explicación de la enorme actividad volcánica que se produjo en Michoacán durante el Cuaternario. Hacia el oriente aumenta la edad de la corteza oceánica, así como el espesor de la placa continental (Nixon, 1979a), y es en este sector donde se ubican los principales estrato-volcanes de México.

En un artículo reciente, Silva-Mora (1979) presenta datos geoquímicos sobre los basaltos de la parte nororiental de Michoacán, los cuales se caracterizan por valores bastante fuertes en Al_2O_3 (16-17%) y, sobre todo, en TiO_2 (1.5%); este último valor es muy singular para una secuencia orogénica. Estos resultados no difieren grandemente de los obtenidos por Richter y Negendank (1976) sobre andesitas basálticas del Valle de México (Ni = 53 ppm; Cr = 112 ppm); por el contrario, los basaltos de la parte más oriental del Eje Neovolcánico (Nixon, 1979a) tienen porcentajes más bajos en Al_2O_3 (15-16%) y TiO_2 (1%), pero valores mucho más elevados en Ni (200 ppm) y Cr (400 ppm), lo que fue interpretado por la localización anormal de este volcanismo encima de la prolongación asísmica de una placa en subducción (Nixon, 1979a); es decir, la zona donde desaparece el manto del piso oceánico, en la zona más alejada de la fosa.

En conclusión, el volcanismo del Eje Transmexicano es reflejo fiel del ambiente tectónico de esta parte meridional

de México, caracterizado por: 1) la presencia de dos placas oceánicas, Rivera y Cocos, que se hundien de manera distinta debajo de la Placa Americana; 2) las variaciones en edad, del W hasta el E, de la Placa de Cocos; 3) el aumento del espesor de la placa continental norteamericana en el mismo sentido.

GENESIS DE LOS MAGMAS DEL EJE TRANSMEXICANO

El objeto de este párrafo no es presentar una interpretación global del Eje Neovolcánico, sino hacer énfasis, a partir de los trabajos disponibles, en algunos procesos genéticos interesantes.

Los basaltos no son tan escasos en el Eje Transmexicano como se señaló anteriormente (Gunn y Mooser, 1970; Negendank, 1972), y aparecen a lo largo de toda la cadena volcánica. Se les puede considerar como el magma primario, el cual pudo haber sufrido ya procesos de fraccionamiento.

Los valores fuertes en Ni y Cr de los basaltos de la parte oriental del Eje Neovolcánico son compatibles con el origen de estas lavas a partir del manto (Nixon, 1979b). Por otro lado, los valores de los isótopos del estroncio, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (Whitford y Bloomfield, 1976; Moor bath *et al.*, 1978) bastante bajos y constantes de una región a la otra, demuestran que los fenómenos de contaminación por la corteza continental no intervienen de manera importante en la génesis de estas lavas.

Se involucraron dos procesos magmáticos para explicar la evolución química que se observa en la secuencia cuaternaria del Eje Neovolcánico.

La cristalización fraccionada interviene en el caso de los estrato-volcanes de la parte occidental (Demant, 1979) para dar cuenta de los cambios de la composición química de los volcanes Ceboruco o Tequila, por ejemplo, pero también juega un papel importante en el caso del volcanismo de Michoacán (Silva-Mora, 1979); es decir, a la escala no de un volcán, sino de una región.

Otro proceso fundamental es el de la mezcla de magmas (*magma-mixing*). Este mecanismo fue descrito en el Volcán de Colima (Demant, 1979), donde cristales de olivino aparecen en andesitas ricas en sílice; este mineral es particularmente abundante en las pómez que provienen de las erupciones que formaron la caldera del antiguo Volcán de Colima (Demant, 1979). El olivino no es estable en este tipo de lava y su presencia fue interpretada por la llegada de un magma más primitivo; es decir, más básico, en una cámara magmática con lavas dacíticas diferenciadas, lo que parece haber inducido las fases eruptivas violentas. Tal mecanismo también se involucró para explicar la erupción de 1902 del Volcán Santa María en Guatemala (Self y Williams, 1979) o la gran emisión de pómez del Monte Mazama en Crater Lake (Leeman, 1979). Nixon (1979b) utiliza este fenómeno de mezcla de magmas para interpretar las andesitas magnesianas de los estrato-volcanes de la parte oriental del Eje, en las cuales se observan cristales de forsterita asociados con hornblenda, biotita y/o cuarzo. La repartición lineal de elementos tales como Mg, Ni, Cr demuestra que se trata de un proceso de mezcla mecánica que no fue seguido por otro de cristalización fraccionada.

En conclusión, los magmas primarios del Eje Neovolcánico provienen probablemente de la fusión del manto arriba de la placa en hundimiento y las variaciones químicas que se observan en la secuencia son resultado de fenómenos de cristalización fraccionada o de mezcla de magmas, y no de fenó-

menos de contaminación por la corteza continental. En efecto, curiosamente los valores de los isótopos del estroncio acercan más estas lavas del Eje Neovolcánico a secuencias calc-alkalinas desarrolladas encima de una corteza oceánica o intermedia, que a un volcanismo de tipo margen continental activo (Bricqueu y Lancelot, 1979), lo cual está en relación directa con el espesor de la placa continental, como fue demostrado en los Andes del Perú (Lefevre, 1979) y Chile (Deruelle, 1979).

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece al Ing. D. A. Córdoba, Director del Instituto de Geología, todas las facilidades obtenidas durante su estancia de más de seis años en México, así como su cordial invitación para participar en el Simposio sobre la Tectónica de México, organizado para celebrar el Cincuentenario de la Autonomía Universitaria; al Dr. J. Guerrero, Jefe del Departamento de Geología, el interés que siempre ha manifestado en este proyecto de investigación sobre el Eje Neovolcánico; al Ing. R. del Arenal, su paciencia y gran ayuda en la revisión crítica de los manuscritos que fueron publicados por el Instituto de Geología.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Batiza, Rodolfo, 1978, Geology, petrology and geochemistry of Isla Tortuga, a recently formed tholeiitic island in the Gulf of California: *Geol. Soc. America Bull.*, v. 89, p. 1309-1324.
- Bricqueu, L., y Lancelot, J. R., 1979, Rb-Sr systematics and crustal contamination models for calc-alkaline igneous rocks: *Earth Planet. Sci. Letters*, v. 43, p. 385-396.
- Campa, M. F., Oviedo, Amador, y Tardy, Marc, 1976, La cabalgadura laramídica del dominio volcánico-sedimentario (arco Alisitos-Teloloapan) sobre el miogeosinclinal mexicano en los límites de los Estados de Guerrero y México: *Acapulco (México)*, Cong. Latinoam. Geología, 3, Resúmenes, p. 23 (resumen).
- Demant, Alain, 1978, Características del Eje Neovolcánico Transmexicano; sus problemas de interpretación: *Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, Revista*, v. 2, p. 172-187.
- 1979, Vulcanología y petrografía del sector occidental del Eje Neovolcánico: *Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, Revista*, v. 3, p. 39-57.
- Demant, Alain, Mauvois, Roger, y Silva-Mora, Luis, 1976, El Eje Neovolcánico: *Acapulco (México)*, Cong. Latinoam. Geología, Libro-guía 4, 30 p.
- Demant, Alain, y Nixon, G. T., 1980, Variations géochimiques des basaltes quaternaires de l'Axe Transmexicain; signification géodynamique: *Paris, Cong. Geol. Intern.*, 26, en prensa.
- Deruelle, Bernard, 1979, *Pétrologie d'un volcanisme de marge active; Atacama et Andes méridionales*: Orsay, Univ. Paris-Sud, disertación doctoral, 420 p. (inérita).
- Gastil, R. G., Krummenacher, D., y Minch, John, 1979, The record of Cenozoic volcanism around the Gulf of California: *Geol. Soc. America Bull.*, v. 90, p. 839-857.
- Gunn, B. M., y Mooser, Federico, 1970, Geochemistry of the volcanics of central Mexico: *Bull. Volcanol.*, v. 34, p. 577-616.
- Gutmann, G. T., 1977, Texture and genesis of phenocryst and megacryst in basaltic lavas from Pinacate: *Am. Jour. Sci.*, v. 277, p. 833-861.
- Johnpeer, G. D., 1977, Reconnaissance geology and petrology of the Guaymas area, Sonora, Mexico: Tempe, Arizona State Univ., tesis de maestría, 64 p. (inérita).
- Karig, E. E., Cardwell, R. K., Moore, G. F., y Morre, D. G., 1978, Late Cenozoic subduction and continental margin truncation along the northern Middle-America trench: *Geol. Soc. America Bull.*, v. 89, p. 265-276.
- Leeman, W. P., 1979, Complementary crystal fractionation and magma mixing at Mt. Mazama (Crater Lake): Oregon, *Volcanology Symp.*, Geol. Soc. America, Abstr. with Programs (resumen).
- Lefevre, Christian, 1979, Un exemple de volcanisme de marge active dans les Andes du Perou (Sud) du Miocene à l'actuel: Orsay, Univ. Paris-Sud, disertación doctoral, 420 p. (inérita).
- Luhr, J., y Nelson, S. A., 1979, Volcanological and geochemical contrasts between two Mexican volcanoes; Colima and Ceboruco: Oregon, *Volcanology Symp.*, Geol. Soc. America, Abstr. with Programs (resumen).
- Mahood, Gail, 1977, A preliminary report on the comenditic dome and ash flow complex of Sierra La Primavera, Jalisco: *Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, Revista*, v. 1, p. 177-190.
- McDowell, F. W., y Clabaugh, S. E., 1979, Ignimbrites of the Sierra Madre Occidental and their relation to the tectonic history of western Mexico: *Geol. Soc. America, Special Paper 180*, p. 113-124.
- Moorbath, S. T., Thorpe, R. S., y Gibson, I. L., 1978, Strontium isotope evidence for petrogenesis of Mexican andesites: *Nature*, v. 271, p. 437-438.
- Negendank, J. F., 1972, Volcanics of the valley of Mexico, part I; Petrography of the volcanics: *N. Jb. Miner. Abh.*, v. 116, p. 308-320.
- Nixon, G. T., 1979a, Magnesian andesites of the Transmexican Volcanic Belt; role of lithosphere thickness in determining along arc variations of calc-alkaline magmas: *Geol. Soc. America, Abstr. with Programs*, v. 11, p. 487 (resumen).
- 1979b, Role of magma mixing in the generation of high magnesium andesites: Oregon, *Volcanology Symp.*, Geol. Soc. America, Abstr. with Programs (resumen).
- Richter, Peter, y Negendank, J. F., 1976, Spurenelementuntersuchungen an vulkaniten des Tales von Mexiko: *Münster Forsch. Geol. Paleont.*, v. 38/39, p. 179-200.
- Robin, Claude, y Demant, Alain, 1974, Les trapps de l'est mexicain; coexistence de séries alcalines et tholeiitiques caractères différentiels entre le volcanisme des plaines et celui des plateaux: *Acad. Sci. Paris, Compt. Rend.*, v. 278, p. 2413-2416.
- Sclater, J. G., Anderson, R. N., y Bell, M. L., 1971, Elevation of ridges and evolution of the central eastern Pacific: *Jour. Geophys. Res.*, v. 76, p. 7888-7915.
- Self, S. W., y Williams, S. N., 1979, Triggering of the October 1902 eruption of Santa María volcano, Guatemala, by a magma mixing event: Oregon, *Volcanology Symp.*, Geol. Soc. America, Abstr. with Programs (resumen).

Silva-Mora, Luis, 1979, Contribution à la connaissance de l'Axe Volcanique Transmexicain; étude géologique et pétrologique des laves du Michoacán oriental: Marsella, Univ. Aix-Marseille III, tesis doctor ingeniero, 230 p. (inérita).
Urrutia-Fucugauchi, Jaime, y del Castillo, Luis, 1977, Un mo-

delo del Eje Volcánico Mexicano: Bol. Soc. Geol. Mexicana, v. 38, p. 18-28.
Whitford, D. J., y Bloomfield, Keith, 1976, Geochemistry of late Cenozoic volcanic rocks from the Nevado de Toluca area, Mexico: Carnegie Inst. Washington, Yb 75, p. 207-213.
